

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年 7月24日

出願番号

Application Number:

特願2000-222556

出願人

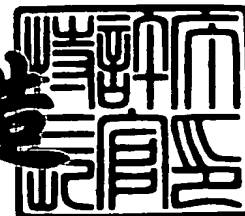
Applicant(s):

日本電気株式会社

2001年 4月27日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3035660

【書類名】 特許願
 【整理番号】 70902882
 【あて先】 特許庁長官殿
 【国際特許分類】 B23K 26/00
 H01S 3/098

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日
 本電気株式会社内

【氏名】 久所 之夫

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日
 本電気株式会社内

【氏名】 吉野 洋一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日
 本電気株式会社内

【氏名】 森重 幸雄

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100082935

【弁理士】

【氏名又は名称】 京本 直樹

【電話番号】 03-3454-1111

【選任した代理人】

【識別番号】 100082924

【弁理士】

【氏名又は名称】 福田 修一

【電話番号】 03-3454-1111
【選任した代理人】
【識別番号】 100085268
【弁理士】
【氏名又は名称】 河合 信明
【電話番号】 03-3454-1111
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 008279
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9115699
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 レーザパターン修正方法並びに修正装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 Qスイッチモード同期パルスレーザ出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 2】 Qスイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 3】 Qスイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスをさらに光増幅器によって光直接増幅して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 4】 Qスイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 5】 Qスイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波し、前記合波されたレーザパルスをさらに光増幅器によって光直接増幅して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 6】 Qスイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを高調波光に波長変換

して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 7】 Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波し、前記合波したレーザパルスを高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 8】 Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを光増幅器によって光直接増幅し、さらに高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 9】 Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波し、前記合波されたレーザパルスを光増幅器によって光直接増幅し、さらに高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 10】 Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを光増幅器によって光直接増幅し、前記増幅されたシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波し、前記合波されたレーザパルスを前記光増幅器によって再び光直接増幅し、さらに高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正方法。

【請求項 1 1】 前記照射レーザ光のパルス幅は 1 0 ピコ秒～3 0 0 ピコ秒の範囲にあることを特徴とする前記請求項 1 乃至 1 0 記載のレーザパターン修正方法。

【請求項 1 2】 前記第 1 及び第 2 のレーザパルスの遅延時間は、0. 1 ナノ秒～1 0 ナノ秒の範囲であることを特徴とする前記請求項 2 乃至 1 0 記載のレーザパターン修正方法。

【請求項 1 3】 前記 Q スイッチモード同期パルスレーザの出力光から前記マルチレーザパルスを切り出すパルス数並びに切り出し開始の第 1 パルスの時間位置は、任意に設定できることを特徴とする請求項 2 乃至 1 0 記載のレーザパターン修正方法。

【請求項 1 4】 Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項 1 5】 Q スイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器を備え、該光変調器の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項 1 6】 Q スイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記光変調器を出力するシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスをさらに光直接増幅する光増幅器を備え、前記光増幅器出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項 1 7】 Q スイッチモード同期パルスレーザと該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波するレーザパルス遅延手段を備え、前記レーザパルス遅延手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項 1 8】 Q スイッチモード同期パルスレーザと該レーザの出力光の

もつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第1のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第2のレーザパルスとを合波するレーザパルス遅延手段と、前記合波されたレーザパルスをさらに光直接増幅する光増幅器を備え、前記光増幅器出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項19】 Qスイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを高調波光に波長変換する波長変換手段を備え、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項20】 Qスイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第1のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第2のレーザパルスとを合波するレーザパルス遅延手段と、前記合波されたレーザパルスを高調波光に波長変換する波長変換手段を備え、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項21】 Qスイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを光直接増幅する光増幅器と、前記光増幅器の出力光をさらに高調波光に波長変換する波長変換手段を備え、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項22】 Qスイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した

第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波するレーザパルス遅延手段と、前記合波されたレーザパルスを光直接増幅する光増幅器と、前記光増幅器の出力光をさらに高調波光に波長変換する波長変換手段と、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項 2 3】 Q スイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波するとともに前記第 1 のレーザパルスは光増幅媒質を往復 2 回透過させてダブルパスによる光直接増幅し前記第 2 のレーザパルスは前記光増幅媒質を 1 回透過させてシングルパスによる光直接増幅を行うレーザパルス遅延増幅手段と、前記レーザパルス遅延増幅手段の出力光をさらに高調波光に波長変換する波長変換手段と、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項 2 4】 前記 Q スイッチモード同期パルスレーザは、レーザ共振器中に、半導体レーザ励起手段あるいはランプ励起手段と、Nd : YLF レーザまたは Nd : YAG レーザまたは Nd : ガラスレーザのいずれかのレーザ媒質と、Q スイッチパルス発振させるための超音波 Q スイッチ素子と、モード同期パルス発振させるための超音波モードロッカーと、共振器の縦モード選択をするためのエタロン板を備えることを特徴とする前記請求項 1 4 乃至 2 3 記載のレーザパターン修正装置。

【請求項 2 5】 前記エタロン板は、前記レーザ共振器中に厚さの異なる複数枚を備え、前記レーザ共振器光軸中への前記厚みの異なる枚葉の挿入切替を電氣的なりモート操作によって制御できることを特徴とする前記請求項 2 4 記載のレーザパターン修正装置。

【請求項 2 6】 前記エタロン板の挿入切替で得られるレーザ光のパルス幅

の可変範囲は、10ピコ秒～300ピコ秒であることを特徴とする前記請求項25記載のレーザパターン修正装置。

【請求項27】 前記光変調器は、前記Qスイッチモード同期パルスレーザの出力光から前記マルチレーザパルスを切り出す場合に、切り出すパルス数並びに切り出し開始の第1パルスの時間位置を任意に設定することができ、前記パルス数及び切り出し開始時間位置は、電氣的なりモート操作によって制御できることを特徴とする請求項15乃至23記載のレーザパターン修正装置。

【請求項28】 前記請求項17、18、20、及び22記載のレーザパルス遅延手段並びに前記請求項23記載のレーザパルス遅延増幅手段は、遅延時間を0.1ns～10nsの範囲において可変可能であり、前記遅延時間の可変は電氣的なりモート操作で制御できることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項29】 前記請求項17、18、20、及び22記載のレーザパルス遅延手段並びに前記請求項23記載のレーザパルス遅延増幅手段の前記第1のレーザパルスのピークパワーと前記第2のレーザパルスのピークパワーは、相互の大小が制御可能であり、前記大小の制御は電氣的なりモート操作によって行えることを特徴とするレーザパターン修正装置。

【請求項30】 前記波長変換手段は、波長360nm以下の第3高調波、第4高調波、あるいは第5高調波を出力光とする非線形光学結晶を用いた波長変換素子であることを特徴とする前記請求項19乃至23記載のレーザパターン修正装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フォトマスクリペアや微細なパターン修正等、レーザを用いた微細なパターン修正方法並びに修正装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

レーザ発振光と精密可動ステージや走査技術を組み合わせた、レーザ加工装置は広汎な用途に用いられている。とりわけ、パルスレーザ光を用いた超微細なパ

ターンを修正する装置はレーザマスクリペア装置等の産業利用のみならず最近では医用応用にも用いられてきている。

L S I 製造プロセスの主要な工程であるリソグラフィの工程ではには多数のフォトマスクが使用される。このフォトマスクにおける色々な欠陥をレーザを用いて修正する装置がレーザマスクリペア装置である。

フォトマスクは、図 9 (B) の断面図に示すように、短波長における光透過性の高い石英ガラスを基板として、その主面に遮光性の高い金属クロム薄膜によってパターンが形成されている。フォトマスクに生じるパターン上の欠陥の種類をまとめたものを図 9 (A) に示す。欠陥は大別すると、黒欠陥と呼ばれる残留欠陥と、白欠陥と呼ばれる欠損とに分かれる。

【 0 0 0 3 】

加工プロセスで分けると、前者の黒欠陥はレーザ除去加工、後者の白欠陥はレーザ C V D (化学的気相成長法による成膜) と呼ばれる成膜加工になる。前者のレーザ除去加工は、レーザによって行われる最も一般的なフォトマスク加工法であり、レーザリペアと呼ばれる装置のほとんどがこの種に属する。

レーザリペアで使用されるレーザ光源は、 $Nd : YAG$ 、または、これに準ずる $Nd : YLF$ 、 $Nd : YVO_4$ などのレーザ結晶媒質を使用した固体レーザが一般的に用いられている。これらの固体レーザが用いられる理由は、第 1 に高いピークパワー (短パルス幅) が得られる Q スイッチパルス発振が安定して得られること、第 2 に高調波の発生が可能であること、第 3 に小型で、且つ、制御性やメンテナンス性に優れることなどによる。

【 0 0 0 4 】

レーザ光を微小スポットに集光して、フォトマスク上のクロム薄膜を蒸発させ除去する加工を通常ザッピングと呼んでいる。レーザザッピングする場合、従来、パルス幅が $5 \sim 10 \text{ ns}$ 程度のパルス励起 Q スイッチパルスレーザが使用されてきた。ザッピングの制御性を高めるためにレーザのパルス幅を短くするには、共振器長を短く、レーザ媒質への励起光強度を高くして、立ち上がりの速い Q スイッチパルスを作る方策がなされる。

たとえば、共振器長が 25 mm 程度の LD (半導体レーザ) 励起方式の $Nd : Y$

VO₄ マイクロチップレーザを主発振器（マスタオシレータ）とし、この発振光を光アンプによって増幅するMOPA（Master Oscillator Power Amplifier）方式では、主発振器の発振波長の基本波で10mJ/pulseのエネルギーをもった0.85ns幅のサブナノ秒パルスレーザを発生させてレーザーリペアの光源に使用してきた。（Y. Kyusho et al. ; OSA TOPS on advanced Solid-State Lasers, Vol. 1（1996）所収）

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

レーザフォトマスクリペアにおいて、ザッピング加工時に問題となるのは図10に示したような現象である。すなわち、Cr膜をザッピングしたときの熱影響層（Heat Affected Zone）の発生による盛り上がり、エッジのだれや飛散物（Splash）、そして、ガラス基板損傷によるマスク透過率の低下などである。

【0006】

まず、第1の問題点は、従来のQスイッチによるパルス幅5～10ns程度では、熱影響層が0.5～1.0μm程度発生することである。フォトマスクに使用されているCrの熱拡散長は、レーザパルス幅が5nsのとき0.7μm、10nsのとき1.4μm程度あり、熱拡散長の範囲は熱が及んでいる。このような幅の広いレーザパルスでは、多かれ少なかれ原理的に熱影響層は発生してしまうものである。この熱影響層の発生はエッジのだれになり、加工精度を悪化させたり、飛散物となってまわりに飛んで被着しパターン欠陥となる場合がある。これを防ぐために、これまではレーザパワーを適当に選択して、熱影響層をできるだけ溶融させないようにして抑えてきた。

0.85nsのサブナノ秒パルスを用いても、0.12μmの熱影響層が発生する計算となる。仮に、熱影響層を0.01μm以下にしようとする、計算上約70psのパルス幅を有するレーザ光が必要となる。しかしながら、この領域のパルス幅の発生は、従来のQスイッチレーザでは不可能である。

【0007】

第2の問題点は、レーザパルスのピークパワーを高くしていくと、レーザ照射部のエッジ部分が垂直に盛り上がってくることである。この原因は1ショット当たりのパルスエネルギーが同じで、パルス幅を短くしていくとき、ピークパワーが高くなっていくが、熱影響領域が減りながらピークパワーだけ高くなっていくと、レーザ照射時のフォトンプレッシャー（光圧力）が入射方向と反対方向に反作用力として働き、レーザ照射部と非照射部との間の溶融層で、バリ状の盛り上がりの発生が非常に大きくなることによる。数10psのパルス幅のときは1 μ m以上のバリが垂直に発生することもある。このようなバリはパターンの捲れを誘発したり、パターンの傷となり易いので避けなければならない。また、照射レーザパワー密度によっては、マスクに対して鉛直方向だけでなく、水平方向にも溶融部が飛散（スプラッシュ）することがある。飛散物の大きさにもよるが、少なくとも従来のnsオーダーのパルス幅を用いる場合には、0.5～1 μ m程度の大きさの飛散物となることが多く、レーザ照射部のまわりのパターンに新たな欠陥を発生させる問題があった。

【0008】

第3の問題点は、レーザの照射面積の大きさと照射レーザパワー密度によって、前記した飛散物の発生関係の問題である。すなわち、修正する欠陥の形状、たとえば、長方形における長辺と短辺との比によって、飛散物の発生の様子が大きく変わるという不安定性があった。

【0009】

第4の問題点は、ガラス基板への損傷（ダメージ）である。レーザ光のパワーを大きくしたり、照射レーザ光の波長を紫外光にすると、程度の差こそあれ基板ダメージを発生させる。このダメージは、露光する場合に、透過率を低減させたり、干渉パターンを発生させたりするため、フォトマスクの性能として見た場合、ダメージ問題も非常に重大な問題の1つになっていた。

【0010】

本発明の目的は、レーザフォトマスクリペアにおいて、0.18 μ mルール以下の黒欠陥修正において、熱影響が少なく、盛り上がりが少なく、飛散が少なく、ガラス基板へのダメージも少ない微細加工と修正加工精度を可能にするレーザ

リペア装置を提供することにある。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

本発明の請求項 1 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 3 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスをさらに光増幅器によって光直接増幅して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 4 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 5 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波し、前記合波されたレーザパルスをさらに光増幅器によって光直接増幅して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 6 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングル

レーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 7 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波し、前記合波したレーザパルスを高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 8 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを光増幅器によって光直接増幅し、さらに高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 9 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波し、前記合波されたレーザパルスを光増幅器によって光直接増幅し、さらに高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 1 0 に係わる発明のレーザパターン修正方法は、Q スイッチモード同期パルスレーザ出力光のもつ光パルス列から光変調器によってシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出し、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを光増幅器によって光直接増幅し、前記増幅されたシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザ

パルスに時間遅延を与えた第2のレーザパルスとを合波し、前記合波されたレーザパルスを前記光増幅器によって再び光直接増幅し、さらに高調波光に波長変換して照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項11に係わる発明のレーザパターン修正方法は、前記請求項1乃至10に係わる発明記載の前記照射レーザ光のパルス幅が、10ピコ秒～300ピコ秒の範囲にあることを特徴とする。

また、本発明の請求項12に係わる発明のレーザパターン修正方法は、前記請求項2乃至10に係わる発明記載の前記第1及び第2のレーザパルスの遅延時間が、0.1ナノ秒～10ナノ秒の範囲であることを特徴とする。

また、本発明の請求項13に係わる発明のレーザパターン修正方法は、前記請求項2乃至10に係わる発明記載の前記Qスイッチモード同期パルスレーザの出力光から前記マルチレーザパルスを切り出すパルス数並びに切り出し開始の第1パルスの時間位置が、任意に設定できることを特徴とする。

【0012】

本発明の請求項14に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Qスイッチモード同期パルスレーザ出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項15に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Qスイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器を備え、該光変調器の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項16に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Qスイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記光変調器を出力するシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスをさらに光直接増幅する光増幅器を備え、前記光増幅器出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項17に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Qスイッチモード同期パルスレーザと該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレー

ザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波するレーザパルス遅延手段を備え、前記レーザパルス遅延手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 1 8 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Q スイッチモード同期パルスレーザと該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波するレーザパルス遅延手段と、前記合波されたレーザパルスをさらに光直接増幅する光増幅器を備え、前記光増幅器出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 1 9 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Q スイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを高調波光に波長変換する波長変換手段を備え、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 0 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Q スイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波するレーザパルス遅延手段と、前記合波されたレーザパルスを高調波光に波長変換する波長変換手段を備え、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 1 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Q スイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを光直接増幅する光増幅器と、前記光増幅

器の出力光をさらに高調波光に波長変換する波長変換手段を備え、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 2 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Q スイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波するレーザパルス遅延手段と、前記合波されたレーザパルスを光直接増幅する光増幅器と、前記光増幅器の出力光をさらに高調波光に波長変換する波長変換手段と、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 3 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、Q スイッチモード同期パルスレーザと、該レーザの出力光のもつ光パルス列からシングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを切り出す光変調器と、前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した第 1 のレーザパルスと前記シングルレーザパルスまたはマルチレーザパルスを分岐した他方のレーザパルスに時間遅延を与えた第 2 のレーザパルスとを合波するとともに前記第 1 のレーザパルスは光増幅媒質を往復 2 回透過させてダブルパスによる光直接増幅し前記第 2 のレーザパルスは前記光増幅媒質を 1 回透過させてシングルパスによる光直接増幅を行うレーザパルス遅延増幅手段と、前記レーザパルス遅延増幅手段の出力光をさらに高調波光に波長変換する波長変換手段と、前記波長変換手段の出力光を照射レーザ光とすることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 4 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、前記請求項 1 4 乃至 2 3 に係わる発明記載の前記 Q スイッチモード同期パルスレーザは、レーザ共振器中に、半導体レーザ励起手段あるいはランプ励起手段と、Nd : YLF レーザまたは Nd : YAG レーザまたは Nd : ガラスレーザのいずれかのレーザ媒質と、Q スイッチパルス発振させるための超音波 Q スイッチ素子と、モード同期パルス発振させるための超音波モードロッカーと、共振器の縦モード選択をするためのエタロン板を備えることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 5 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、前記請求項 2 4 に係わる発明記載の前記エタロン板が、前記レーザ共振器中に厚さの異なる複数枚を備え、前記レーザ共振器光軸中への前記厚みの異なる枚葉の挿入切替を電氣的なりモート操作によって制御できることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 6 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、前記請求項 2 5 に係わる発明記載の前記エタロン板の挿入切替で得られるレーザ光のパルス幅の可変範囲が、1 0 ピコ秒～3 0 0 ピコ秒であることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 7 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、前記請求項 1 5 乃至 2 3 に係わる発明記載の前記光変調器が、前記 Q スイッチモード同期パルスレーザの出力光から前記マルチレーザパルスを切り出す場合に、切り出すパルス数並びに切り出し開始の第 1 パルスの時間位置を任意に設定することができ、前記パルス数及び切り出し開始時間位置は、電氣的なりモート操作によって制御できることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 8 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、前記請求項 1 7、1 8、2 0、及び 2 2 に係わる発明記載の前記レーザパルス遅延手段並びに前記請求項 2 3 に係わる発明記載の前記レーザパルス遅延増幅手段が、遅延時間を 0. 1 n s ～1 0 n s の範囲において可変可能であり、前記遅延時間の可変は電氣的なりモート操作で制御できることを特徴とする。

また、本発明の請求項 2 9 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、前記請求項 1 7、1 8、2 0、及び 2 2 に係わる発明記載の前記レーザパルス遅延手段並びに前記請求項 2 3 に係わる発明記載の前記レーザパルス遅延増幅手段の前記第 1 のレーザパルスのピークパワーと前記第 2 のレーザパルスのピークパワーが、相互の大小が制御可能であり、前記大小の制御は電氣的なりモート操作によって行えることを特徴とする。

また、本発明の請求項 3 0 に係わる発明のレーザパターン修正装置は、請求項 1 9 乃至 2 3 に係わる発明記載の前記波長変換手段が、波長 3 6 0 n m 以下の第 3 高調波、第 4 高調波、あるいは第 5 高調波を出力光とする非線形光学結晶を用いた波長変換素子であることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0014】

まず、最も重要なのは熱影響層を最小限に抑えることである。熱拡散長 L_d は

$L_d = (\kappa \cdot t)^{1/2}$ で与えられる。ここで、 κ は熱拡散係数、 t はレーザパルス幅である。 κ は金属によって固有の値を有する。熱拡散長を小さくするにはレーザパルス幅を短くする以外にない。

ここで、マスクにパターンニングされる金属は通常 Cr であるので、Cr のもつ値 $\kappa = 1.96 \times 10^{-5} [\text{m}^2 / \text{s}]$ から、1 ns のパルス幅では熱の拡散長は $0.14 \mu\text{m}$ となる。

【0015】

0.18 μm 以下のルールของフォトマスクをザッピングしようとするとき、1/4 の縮小露光を考えると、実際のマスク中のパターンサイズは4 倍の 0.72 μm となるので、多くてもこの L/S (ラインアンドスペース) の1 割程度が許される加工精度になる。この場合には加工精度は 0.072 μm となる。すなわち、0.18 μm ルールでも 70 nm 程度の精度が要求されることが判る。近い将来の 0.13 μm や 0.10 μm 対応を考えれば、50 nm 程度の精度を確保しておく必要がある。これを考えると、熱影響層の領域は、38.8 nm 以下に抑えておくことが必要であることが判る。この結果、加工に必要とされるレーザのパルス幅は 77 ps となる。すなわち、10 ピコ秒台のレーザパルスが必要となる。

【0016】

この領域のパルス幅を生み出すためには、固体レーザによるモードロック発振をさせることが必要となる。たとえば、Nd : YAG レーザの場合には、このレーザ媒質の有する蛍光スペクトル幅からパルス幅はおおよそ 3.0 ps 台、より蛍光スペクトル幅の広い Nd : YLF レーザの場合は 20 ps 台のモードロックパルス幅が得られる。

モードロックパルスを作る場合、可飽和色素などを使用して受動的に作る方法と

、光変調器の変調周波数を共振器長で決まる周波数に同期させることによって能動的に作る方法とがあるが、前者は一般的に簡単により短いピコ秒パルスを作れるものの、後者のように制御性の高い方法ではないため、産業用のレーザ装置の光源として使用する場合には、後者が選択される場合が多い。

さらに、金属薄膜除去加工のような高いピークパワーを得る必要がある場合には、通常Qスイッチモードロックパルスという方法を用いる。これは、超音波Qスイッチ素子により、通常のCW-Qスイッチ発振をさせ、大きなパルスエネルギーとピークパワーを100 nsオーダの幅広いパルス幅で発振させ、同時に共振器中に別に設けられた超音波光変調素子を用いて共振器の往復時間に同期させた変調を与えてモードロックパルス列をビルドアップさせる。いま、実効共振器長（真空中の長さに換算した共振器長）が $L = 0.75 \text{ m}$ としたとき、縦モード間隔は、 $2L/c$ （光速） $= 2 \times 0.75 [\text{m}] / 3 \times 10^8 [\text{m/s}] = 5 \text{ ns}$ となる。Qスイッチパルス発振のパルス幅が100 nsであるとすれば、Qスイッチパルスをエンベロープ（包絡線）として、その中に約20本のモードロックパルス列が形成される。前述したように、もしNd:YLFレーザを使用すれば、約20 ps台のモードロックパルス幅で取り出される。

【0017】

Qスイッチ素子とモードロック素子を共振器中に挿入するだけの方式では、約20本のパルスが5 nsの時間間隔で連続に発振されるので、レーザ加工における加工パラメータの内、レーザ出力のピークパワーは励起強度を可変することによって変化させ得るものの、パルス幅やパルス列の時間間隔を含め、加工に用いるパルス数などを調整できない欠点がある。熱影響層のみを考えれば、20 ps台のモードロックパルス列さえ作れば十分で、前述した他のパラメータは適当で構わないように思えるが、実際には強すぎるレーザパワーを金属薄膜に照射すると、かえって加工エッジのだれが大きくなることが確認されている。これはレーザリペアのスリット結像による加工において、スリットの回折像の高次成分が、パルス列の時間間隔が短いときは、平均的な照射パワーが大きくなるに従って、熱の蓄積により加工スレシヨールドのパワーに近づいてきて融点に達するようになり熱影響層ができるものと推察される。したがって、レーザ照射パワーの大

きさと、多重照射させる場合のパルス照射間隔は、これらの加工に非常な重要な意味をもってくる。すなわち、レーザ照射時の過渡的な熱の振る舞いを制御しなければ、目標とする超精密加工を満足させることはできない。逆に言うと、レーザパルス照射の時間間隔とパルス幅のパラメータを、対象加工物の物理的な性質に合わせて、厳密に、且つ、自由に制御できる機能を有していれば熱影響層を最小に抑えた加工ができる可能性がある。

【0018】

以下に、Cr表面にレーザ照射を行ったとき表面並びにCr中の温度の過渡的な変化をシミュレーションした結果を示す。

A. M. PROKHOROV他著「LASER HEATING OF METAL」(1990年刊)によれば、一次元半無限サンプルモデル($0 \leq z < \infty$)におけるレーザ照射による金属中の温度 $T(z, t)$ は、下式で与えられる。

$$T(z, t) = (2AI_0 / k_T) (\kappa t)^{1/2} \times \text{ierfc}(z / (2(\kappa t)^{1/2})) \dots (1)$$

$$T(z, t > \tau_p) = (2AI_0 / k_T) (\kappa t)^{1/2} \times [(t)^{1/2} \text{ierfc}(z / (2(\kappa t)^{1/2})) - (t - \tau_p)^{1/2} \text{ierfc}(z / (2(\kappa^{1/2} (t - \tau_p)^{1/2})))] \dots (2)$$

上式において、(1)式はパルス幅 τ_p に達するまでの温度の立ち上がりを表す式、(2)式はその後の温度減衰の振る舞いを示した式である。 κ は熱拡散係数、 k_T は熱伝導率、 A は金属の吸収率、 I_0 は照射レーザパワー、 z は金属の深さ方向の軸である。 $z=0$ は金属表面を示している。 ierfc は誤差関数を表す。

【0019】

このように比較的簡単な式で、レーザ照射時の金属の温度の過渡応答が計算できる。実際には、 z 方向には薄膜のCrの下には熱伝導度の低いガラスが基板であるため、熱が無限大に拡散できないので本計算より小さなレーザパワーとなっているはずであるが、相対的な議論をする場合には検討できるモデルである。

【0020】

図5に25psの照射光パルス幅(実際のパルス幅はどちらかと言えば三角形

に近いが、計算上は完全な矩形波として計算)におけるCrの表面温度の計算結果を示す。Cr表面の温度は吸収されたレーザーパワーが75MWのとき、レーザーパルスの照射が終わるまで上がり続け、最後には1100℃程度まで上昇する。照射開始後0.1ns経過時点で約300℃、1ns経過時点で100℃程度となる。この結果、Crの融点である約1900℃に達することができないため、全く加工されないはずである。

これに対して、照射パワーが150MWのときは、2200℃程度まで上がり続け、その後0.1ns経過時点で約600℃、1ns経過時点で200℃程度となる。Crの沸点は約2200℃なので、少なくとも表面部のCrは蒸発することになる。

【0021】

図6には、図5の条件と同じ加工パラメータで、Crの表面から100nmの深さのところの温度変化の計算結果である。ちょうどCr膜の厚さに相当する厚みであるので、言い換えると、ガラス基板の上のCr膜が蒸発に至る温度まで達するかどうかの評価が可能になる。この結果からレーザーパルスの照射が終わっても内部の温度は上がり続け、照射レーザーパルスの開始から約0.2nsのところで最大の温度に達するが、最大の照射パワー150MWのときでも約255℃程度までしか上がらない。しかし、加熱後の減衰時間は長く、2nsでようやく半分の120℃まで下降する。このことは、2パルスのモードロックパルス列を照射したとすると、パルスの時間間隔が2ns以下になると加熱された熱は完全に冷える前に次のパルスが来て、熱の蓄積があるところからさらに加熱が始まることを示している。次に、もう少し高い照射パワーを与えたときの振る舞いを調べてみる。

【0022】

図7は、照射するレーザーパワーを1250MWまで上げたときの計算結果である。Crの沸点2200℃に達しているので、この条件で照射すればガラス基板上のCr膜が完全に蒸発されると推察される。ここで、照射パワーが1000MWの場合を考えてみる。融点の1890℃には未だ届いていないが、あと少しのところで100nmのところまで完全に溶融するところまできている。

レーザ共振器の実効光共振器長が $d = 0.75 \text{ m}$ と仮定すると、前述の如く縦モード間隔は 5 ns となる。すなわち、モードロックパルス列の 2 パルスを切り出すとすれば、 5 ns の間隔で C_r に照射されることになる。 5 ns というのは図 7 の 1000 MW の場合には、 500°C の熱の蓄積が残っているところに、パルス幅 25 ps の 2 パルス目のパルスが照射されることになる。図 8 に吸収されたレーザパワーが 1000 MW のときの計算結果を示す。 1000 MW 分の照射だけで、 2200°C に達し蒸発が可能になることが判る。

【0023】

本発明のレーザリペア装置の第一の実施形態を説明する。

図 1 は第 1 の実施形態の構成図である。本レーザリペア装置の主要な構成は、光路順に、Q スイッチモードロックパルスを発振する Q スイッチモードロックパルスレーザ発振器ヘッド 1 と、モードロックパルス列から所望数のパルスを切り出すための光シャッター部 2 と、光パルスの光学遅延ユニット 5 と、光アンプ部 3 と、波長変換素子 4 とで構成されている。

それぞれの要素の構成は、Q スイッチモードロックパルスレーザ発振器ヘッド 1 は、端面励起方式の LD 励起 YLF ロッドとともに完全反射ミラー部も含まれている LD 励起 Nd : YLF レーザ励起部 1 a と、超音波 Q スイッチ素子 1 b と、モードロック用の超音波変調器 1 c と、共振器の縦モード数を制御するためのエタロン板 1 d と、出力ミラー 1 e とで構成され、周辺の要素としてレーザドライバ部 1 f、超音波 Q スイッチ素子駆動用 RF ドライバー 1 g、モードロック用の超音波変調器を駆動する RF ドライバー 1 h と、レーザヘッド内の全ての制御を行うコントローラ 1 j を備えている。

光シャッター部 2 は、電気光学効果を用いたポッケルス素子 2 a と、偏光子 2 b と検光子 2 c と、ポッケルスドライバー 2 d とを備える。

光アンプ部 3 は、本実施形態ではアンプも LD 励起方式を採用しており、Nd : YLF 光アンプ 3 a と、励起用 LD ドライバーであるアンプドライバー 3 b を備える。

光パルスの光学遅延ユニット 5 は、部分透過ミラー 5 a と、全反射プリズムで構成された移動機構付きのコーナーキューブ 5 b と、合成ミラー 5 c を備える。

その他の構成要素として、光路を偏向する2つの全反射ミラー100、基本波光と波長変換光とを選択する波長選択ミラー101、電動回転機構付きの $\lambda/2$ 板7aを用いた電動光アッテネータ7並びにこれを駆動するドライバー部7bを備え、さらに、全システムの制御をパソコンPC6が行っている。

【0024】

次に図1の第一の実施形態のレーザーリペア装置の動作について説明する。

レーザー発振器には、レーザー出力の安定な小信号モードロックパルス列を発生させるためにLD励起方式Nd:YLF発振器を選択している。YLFレーザーであるのは、YAGより蛍光スペクトル幅が広く、また、上準位の緩和時間が長いので、よりピークパワーの高い超短パルスの発生が可能であるためである。そして、Qスイッチ素子としては通常の超音波Qスイッチ素子を使用している。また、モードロッカーとしての超音波変調器は、レーザー共振器周波数に完全にロックできる安定度の高い素子とドライバーを選択している。レーザー発振器ヘッド1は、ベースを共振器長が安定するように、グラファイトなどの熱膨張の低い材質で製作し、しかも発振器ヘッドの環境温度を温度コントロールしている。これはベース上で使用している調整機器が金属性であるための安定化を図るための処置である。

このように、まず安定なモードロックパルス20を発生させ、次に光シャッター2でパルス切り出しを行う。通常はパルス列の真ん中の最もピークが高いところの1パルスのみ切り出している。偏光子2bと検光子2cとでポッケルス素子2aを挟んで構成した高速な光シャッター2を、共振器の縦モード間隔より狭い数nsのON/OFF制御を行って1パルス21の抽出を行っている。

取り出されたパルスをアンプに注入させる前に、ダブルパルスを発生させるために、アンプに注入させる前段のところに光パルスの光学遅延ユニット5を配している。1パルス21をハーフミラー等の部分透過ミラー5aで2分岐させ、一方はストレートに反射させ、もう一方は光学遅延が可能なユニットで遅延を与えて合成させる。本例では、プリズムミラー（またはコーナーキューブ）を使用して、アーム長 L_1 、プリズム（屈折率 n ）の長さを L_2 とすると、光に $(2L_1 + nL_2)/c$ の遅延を発生させることができる。ここで、 c は真空中の光速で

ある。たとえば、 $n = 1.5$ 、 $L_1 = 1 \text{ m}$ 、 $L_2 = 0.1 \text{ m}$ として計算すると、約 6.7 ns の遅延時間を作ることができる。本の実施形態の光学遅延ユニットはアーム長を連続に、しかもリモート制御で調整できるため、ほぼ $1.0 \sim 6.7 \text{ ns}$ の自在な遅延時間を制御することができる。すなわち、パルス切り出しユニットで抽出された1パルスと、それから $1.0 \sim 6.7 \text{ ns}$ の時間間隔だけ自由に遅延させた第2パルスを作ることができる。また、偏光損失を調節して透過パワーを変えられる $\lambda/2$ 波長板付きの電動アッテネータ 7 a によって、前記第1パルスと第2パルスのピークパワーのコントロールを調整することができる。これらのパルス 2 2 を 3 a のアンプに注入して適当に増幅させたパルスを得ることができる。本の実施形態では、小信号パルスを Y L F 光アンプ 3 でリペアに必要な1パルスのエネルギーが mJ レベルに増幅させている。抽出されたパルスの S/N は重要であるため、消光比の高い偏光素子を前後に使用している。なお、図には示していないが、光学遅延ユニット 5 を通さず、直接 3 a のアンプへ、シングルパルス 2 1 を導入することも可能である。すなわち、シングルパルスだけの加工も可能な構成になっている。

【 0 0 2 5 】

次に、2パルス以上のパルス列を切り出すように光シャッタ 2 をコントロールして、光共振器間隔の縦モード間隔（時間）でマルチパルスを作成することも可能である。この切り出すタイミングを変えることによって、第1パルスを最もピークの高いところにしたり、前後にずらして、いろいろな形態のパルスを作ることができる。

図 3 は 4 本のパルスを取り出したときの例である。図 3 (a) は第1パルスより徐々に大きくなるパルス列、図 3 (b) はセンターの最大パルスの前後のパルス列、図 3 (c) は第1パルス以降徐々に小さくなるパルス列にした場合を示したものである。

【 0 0 2 6 】

勿論、先述した光学遅延ユニットに、このようなマルチパルスを通せば、図 4 に示すよう多彩なパルス列を作ることが可能となる。図 4 (a) はモードロックパルス列の周期 T に対して、 $T/2$ だけ光学遅延かけたものである。図 4 (b)

はパルス幅分だけずらして、あたかも 2 倍のパルス幅にしたものである。

【 0 0 2 7 】

本発明のレーザーリペア装置の第二の実施形態を説明する。

【 0 0 2 8 】

図 2 は第 2 の実施形態の構成図である。第 1 の実施形態との相違点は、光アンプ部が第 1 の実施形態では、1 パスアンプ方式であったのに対して、第 2 の実施形態ではアンプを往復させるダブルパスアンプ方式となっていることである。このため、光アンプ 3 の前に偏光ビームスプリッター 1 1 0 を、光アンプ 3 の後に 1 / 4 波長板 8 と、部分透過ミラー 9 と、部分透過ミラーを透過したレーザー光を距離 $2 L_1$ 遅延させるための移動機構付きの反射ミラー 1 0 を配した構成である。9 は反射率（透過率）の異なる部分透過ミラーが切り換えられるようになっている。また、1 / 4 波長板 8 は、光を往復 2 回通過させると、偏光が入射時の偏光から 90° 回転するため、光アンプ 3 をダブルパス通過したレーザー光は 1 1 0 の偏光ビームスプリッターで全反射して取り出される方式である。尚、部分透過ミラー無しを選択できるようにもなっている。

【 0 0 2 9 】

次に図 2 の第二の実施形態のレーザーリペア装置の動作について説明する。

【 0 0 3 0 】

部分透過ミラー 9 は、仮にレーザー光を 5 0 % 透過し、5 0 % 反射するハーフミラーであると仮定する。光シャッター 2 によって切り出されたパルス 2 1 は、偏光ビームスプリッター 1 1 0 を透過し、光アンプ 3 によって、まず入射パルスが 1 パス分増幅される。1 パス増幅されたレーザー光は、部分透過ミラー 9 によって入射光の半分の強度で反射したシングルパルスが光アンプ 3 によって復路 2 パス分増幅され、偏光ビームスプリッター 1 1 0 によって取りだされる。一方部分透過ミラー 9 を透過した入射光の半分の強度のレーザー光は、移動機構付き全反射ミラー 1 0 によって遅延を受け、部分透過ミラー 9 によってパワーをさらに 1 / 2 に減ぜられて光アンプ 3 によって復路 2 パス分増幅され、偏光ビームスプリッター 1 1 0 によって取りだされる。すなわち、本第 2 の実施形態でも 1 パルスが 2 パルスになって、しかも増幅されて取り出される。この場合も、遅延時間は $2 L_1 /$

cとなる。部分透過ミラー9の反射率（透過率）を変更することによって、第1パルスと第2パルスのパワー比を変えることが可能である。

【0031】

以上の説明のように、従来のレーザーリペア方式では、サブナノ秒クラスのパルス幅を有するレーザーパルスを使用していたが、本発明のように10ps台のモードロックパルスを使用することによって、熱影響層を無視できるだけの加工ができるようになる。但し、Cr膜厚などの対象物に合わせた加工パラメータを最適に選択する必要がある。2ショット以上の多重パルスでザッピングする場合などは、パルス間隔や各パルスのピークパワーの大きさも最適に選択してはじめて、10ps台のパルス幅を使用した効果を最大限に発揮できる。また、ピコ秒パルス幅も、対象物の加工材料の固有パラメータに合わせて、短くするだけでなく、たとえば100ps程度のパルス幅が最適である場合もあるので、熱影響層の許される範囲において、加工対象物に合わせてパルス幅も最適にすることによって最大の効果が得られる。これは特に1パルスで加工する場合には非常に重要となる。

【0032】

なお、使用するレーザーは、10ps～300psのモードロックパルスを発振できるものであれば、とくにNd:YLFレーザー、Nd:YAGレーザーなどに限定するものではない。

また、Qスイッチによるレーザー出力の増強を必ずしも必要としないような用途の場合には、Qスイッチ機能を具備しないモードロックのみによるパルス光であってもよい。

また、本特許の対象とするフォトマスクは超LSI用のレチクルマスクだけでなく、大型LCD基板用のフォトマスクも含める。さらには、カラーフィルター用のシャドーマスクの修正やカラーフィルターを構成する各種樹脂類のパターン修正をも含めるものである。

【0033】

【発明の効果】

以上説明したように本発明のレーザーリペア装置は、従来のレーザーリペア方式で

は、サブナノ秒クラスのパルス幅を有するレーザパルスを使用していたが、10 p s 台のモードロックパルスを使用することによって、熱影響層を無視できるだけの加工ができるようになる。

さらに、奏する効果としては、まず第1の効果として、熱影響層を最小にする加工が実現できるため、加工精度を大幅に向上させられることである。これは、10 p s 台のモードロックパルス列を使用しているため、レーザ照射時間、すなわち照射パルス幅の時間内に熱が伝わる距離である熱拡散長を、各種金属に対して10 nm程度に抑えることが可能となったためである。この結果、レーザ照射時に与える熱影響層をほぼ完全に無くすることができるようになった。コーナ部の形状は著しく改善され、コーナーのRを小さくさせることができ、加工時の直線性も良くすることができる効果がある。この他、飛び散りの問題に関しては、パルス幅を10 p s オーダにすることによりピークパワーを非常に大きくさせたことにより、Crを昇華させたときの粒径を小さくさせることが可能になりこのため、従来nsオーダのパルス幅を使用時に発生していた大きなスプラッシュを無くす効果がある。このように10 p s オーダのパルス幅を有するレーザを用いれば、高いピークパワーをマスク上の金属薄膜に照射させたときの昇華プロセスが問題であり、あるいは非常に大きなフォトンプレッシャによって発生するスプラッシュなどの問題を考慮するだけで良くなることである。

また、我々の実験結果によれば、10 p s 台のレーザパルスを使用すると、100 nm程度の厚さのCr膜の付いたバイナリーマスクをザッピングするときに、加工エッジ部に大きなバリを発生させたり、ガラス基板へのダメージを与える場合がある。しかしながら、上述したように熱影響層が小さい分、加工部コーナーのRは確実に小さくなり、この面では加工精度が向上する。ここで、今後主流となってくると思われるハーフトーンマスクのように膜厚が薄く、吸収が比較的低い材料を加工するときは、10 p s の超短パルスでも適当なパワーを選択すれば、バイナリーマスクでの問題点が比較的軽減される場合がある。この様な場合には、10 p s 程度の超短パルスがより微細化を図れることになる。

一方、マスクの材質によってどうしても超短パルスの問題が解決できない場合には、300 p s のパルス幅まで広げることによって、これらの問題点を解決でき

る。すなわち、ガラス基板へのダメージを10nm程度に抑え、且つ、加工エッジのバリも数10nm程度の高さに抑え、加工精度も数10nm程度を実現できる効果がある。このようにパルス幅を10psから300psまで可変することで加工の最適化の幅を大きく広げることができる効果がある。

【0034】

第2の効果として、本発明を用いれば、エタロン板による縦モード数の制御により、モードロックのかかり方を変化させられるため、エタロン板の数だけモードロックパルス幅を変えることができる。このため、上述したスプラッシュ問題等に際しても最適な加工条件を選べることである。特に、1パルスのみでの加工で最適条件を得るためには、モードロックパルス幅とピークパワー値の最適化しかないため、このモードロックパルス幅の可変ができることは重要であり、パルス幅を最適化できる効果は大きい。勿論、数10psのパルス幅を得るための発振器と、100psオーダーのパルス幅を得るための発振器を別々の発振器で作るよりも大幅なコスト削減効果もある。

【0035】

第3の効果として、マルチパルスを自在に作れることである。もし、前述したパルス幅とピークパワーのコントロールだけでは、安定な高精度の加工ができないような場合、加工対象物の材料の特性に合わせて、レーザ照射エリアのヒートアップを工夫することが必要になる。このとき、2ショット以上のレーザパルスでの加工が必要になってくる。さらには、パルス幅とピークパワー値だけでなく、各パルスの照射周期や各パルスのピークパワー値の変化をさせることでより最適な加工条件を得ることができる特徴がある。このように、加工対象物に最適な加工パラメータを選択し、熱影響層が最小になるザッピングを可能にする。特に、2パルス以上のマルチパルスを使用して加工する場合には、各パルスの時間間隔は加工結果に重大な影響を及ぼすことが実験の結果判明しており、本の実施形態で示したような構成のQスイッチモードロックパルス発振器を使用することにより、長期間安定なピコ秒～ナノ秒パルスを利用することができる。たとえばエタロンを選択することにより、500psのロングモードロックパルス幅も安定に取り出すことができる。この長いパルス幅を本発明のマルチパルス発生方式を

用いて適当に重ね合わせるようにすれば、擬似的に 10 ns のパルス幅をも作ることが可能である。そして、この結果として、種類の異なる多様な性質の材料に対して、最適な加工条件を作れる効果がある。2 パルス以上での加工のとき、第 1 パルスと第 2 パルスの大きさの比を変えたり、あるいはパルス列を徐々に大きくしたり、反対に小さくしたりすることも可能である。材料によっては、一度に沸点にまで加熱すると、爆発性の加工になって、制御性の高い、精度の高い加工ができない場合がある。このような場合は、断続的に徐々に加熱させていくと爆発性が最小限に抑えられ、スプラッシュを低減させる効果がある。通常の Cr マスクでは、表面には CrO が表面に AR 膜（防反射膜）として付けられているが、この膜は第二高調波（SHG）、第三高調波（THG）のレーザ波長に対して吸収が大きく、一度に大きなパルスエネルギーを入射させると爆発加工になりやすい傾向にあり、スプラッシュが多く発生し易い結果になるが、第一パルスを小さくして、CrO 膜のみを除去し、第二パルスを大きくして残った Cr 膜を除去する方法は効果がある。反対に、吸収係数の小さな材質や熱伝導が非常に大きな材質の場合には、最初のパルスは大きくして、徐々に小さくしていく方が適する場合もある。これらの双方の場合に対処する形態のパルス列を作ることが可能であり、より多くの材質に対しても最良の加工条件を作ることができる効果もある。

【0036】

第 4 の効果として、 360 nm 以下の紫外光レーザを用いることは、 $0.5\text{ }\mu\text{m L/S}$ のレチクルマスク上の微小欠陥加工を実施するために有効である。加工分解能で考えれば、対物レンズの開口数を NA としたとき、分解能 $= k\lambda / \text{NA}$ （ k は比例定数）で与えられる。実際には、使用する対物レンズの NA は k に近い値になるので、 λ が限界の加工分解能近くになる。Nd:YLF、Nd:YAG などの基本波の第三高調波（THG）以下の 360 nm より短波長側の波長を用いることは、 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下の加工を行う場合には不可欠であり、第四高調波（FHG）、第五高調波（FIHG）とより短波長化させたレーザ光を用いることによって、より微小加工ができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態の構成図である。

【図 2】

本発明の第 2 の実施形態の構成図である。

【図 3】

本発明の実施形態を構成する光シャッターによるモードロックパルス列からの光パルスの切り出しを説明する図である。

【図 4】

本発明の実施形態を構成する光学遅延ユニットを透過したマルチパルスの例を示す図である。

【図 5】

レーザパルス幅 25 ps の光パルスを Cr 薄膜に照射したときの Cr 表面における温度変化のシミュレーションの結果を示す図である。

【図 6】

レーザパルス幅 25 ps の光パルスを Cr 薄膜に照射したときの Cr 内部の温度変化のシミュレーション結果を示す図である。

【図 7】

レーザパルス幅 25 ps の光パルスの照射レーザパワーを 1250 MW まで上げたときのシミュレーション結果を示す図である。

【図 8】

Cr 薄膜に 500℃ の熱蓄積がある状態で、照射レーザパワーを 1000 MW まで上げたときのシミュレーション結果を示す図である。

【図 9】

フォトリソにおける欠陥の種類を示した説明図である。

【図 10】

ザッピング加工時に問題となる現象を示した説明図である。

【符号の説明】

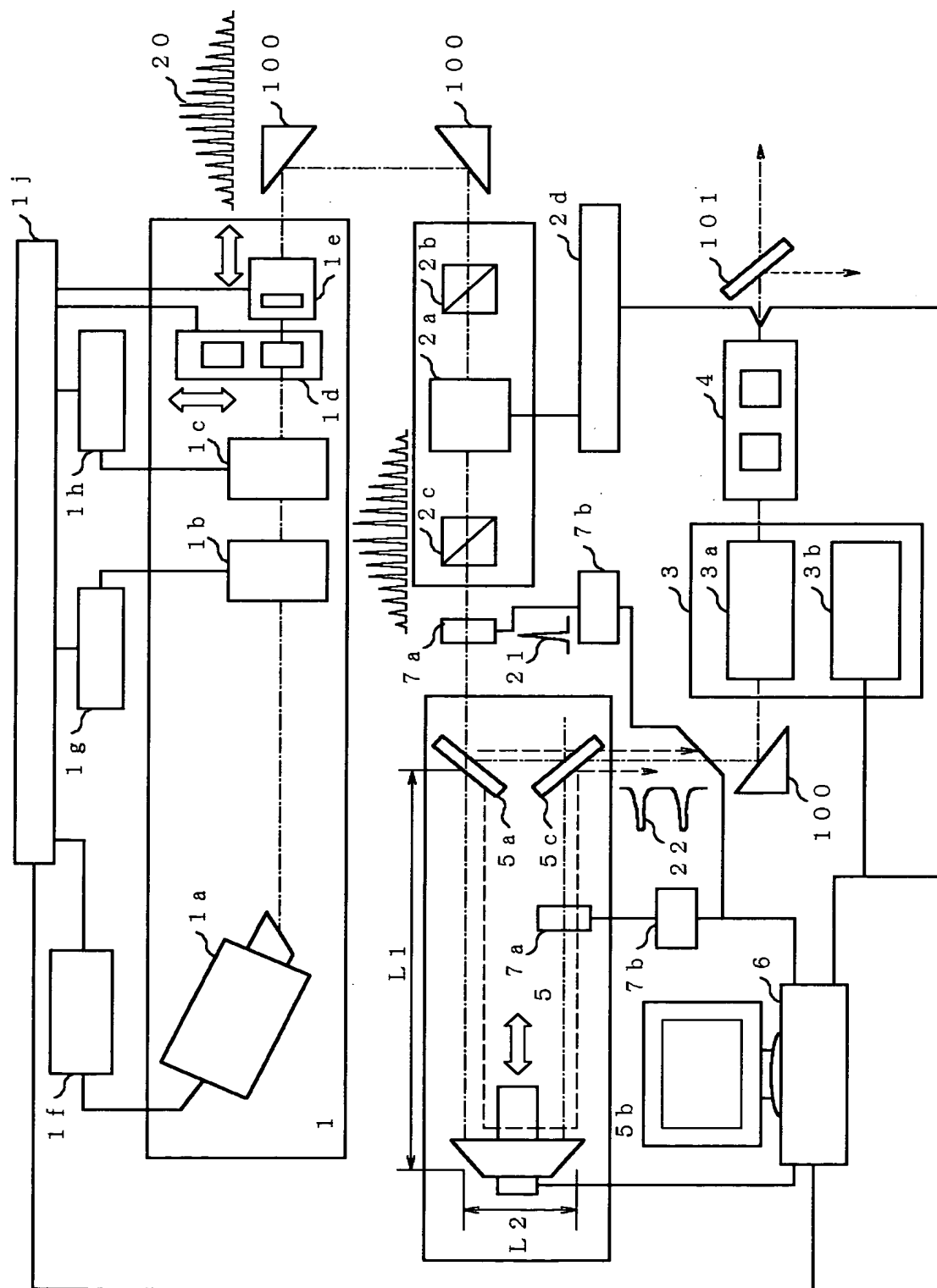
- 1 Q スイッチモードロックパルスレーザ発振器ヘッド
- 1 a LD 励起 Nd : YLF レーザ励起部

- 1 b 超音波 Q スイッチ 素子
- 1 c 超音波 変調器
- 1 d エタロン板
- 1 e 出力ミラー
- 1 f レーザドライバ部
- 1 g R F ドライバ
- 1 h R F ドライバ
- 1 j コントローラ
- 2 光シャッター部
- 2 a ポッケルス素子
- 2 b 偏光子
- 2 c 検光子
- 2 d ポッケルスドライバ
- 3 光アンプ部
- 3 a N d : Y L F 光アンプ
- 3 b アンプドライバ
- 4 波長変換素子
- 5 光学遅延ユニット
- 5 a 部分透過ミラー
- 5 b コーナーキューブ
- 5 c 合成ミラー
- 6 P C
- 7 電動アッテネータ
- 7 a 電動回転機構付きの $\lambda / 2$ 板
- 7 b ドライバ部
- 8 $1 / 4$ 波長板
- 9 部分透過ミラー
- 1 0 移動機構付き全反射ミラー
- 1 0 0 全反射ミラー

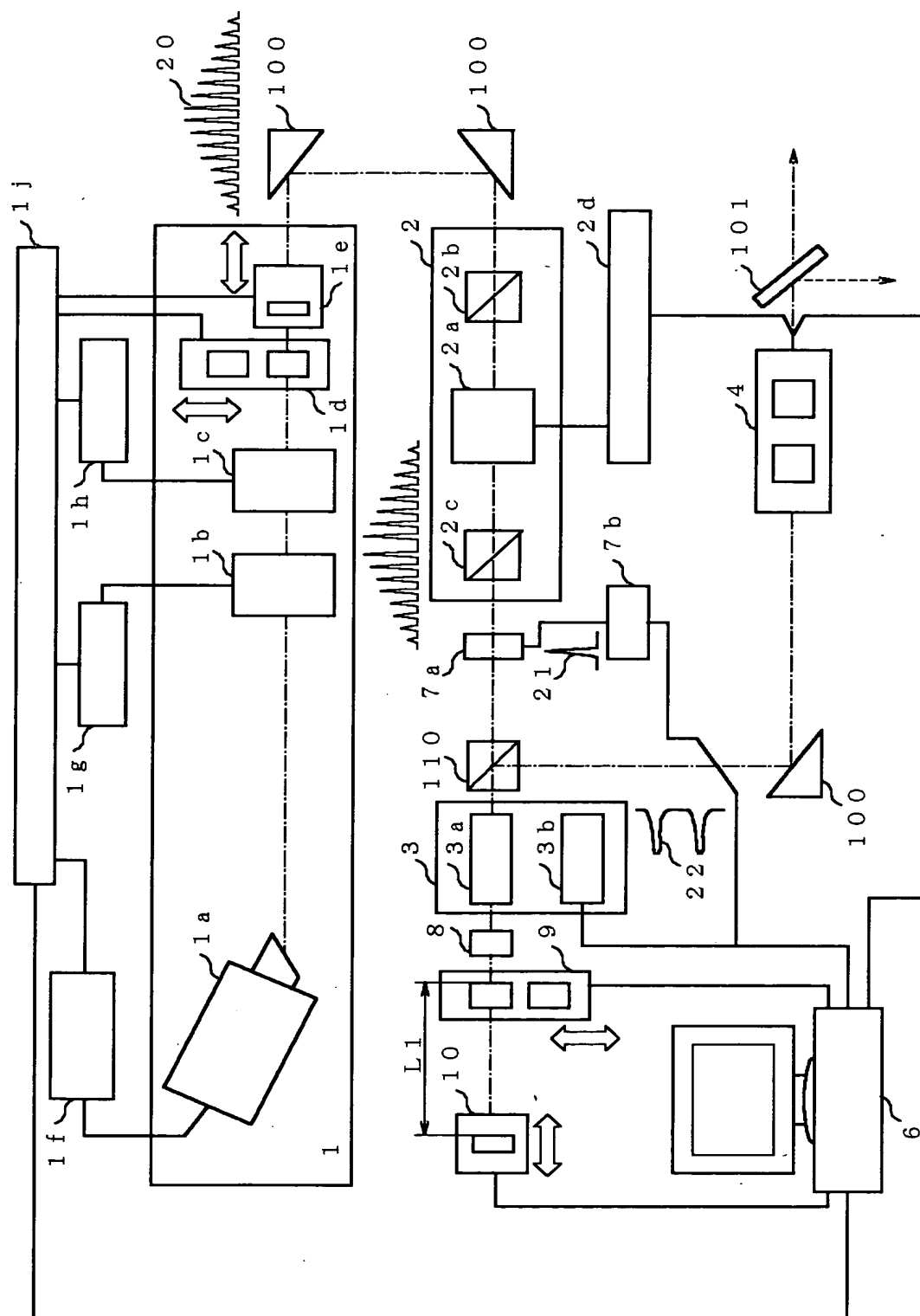
- 1 0 1 波長選択ミラー
- 1 1 0 偏光ビームスプリッター

【書類名】 図面

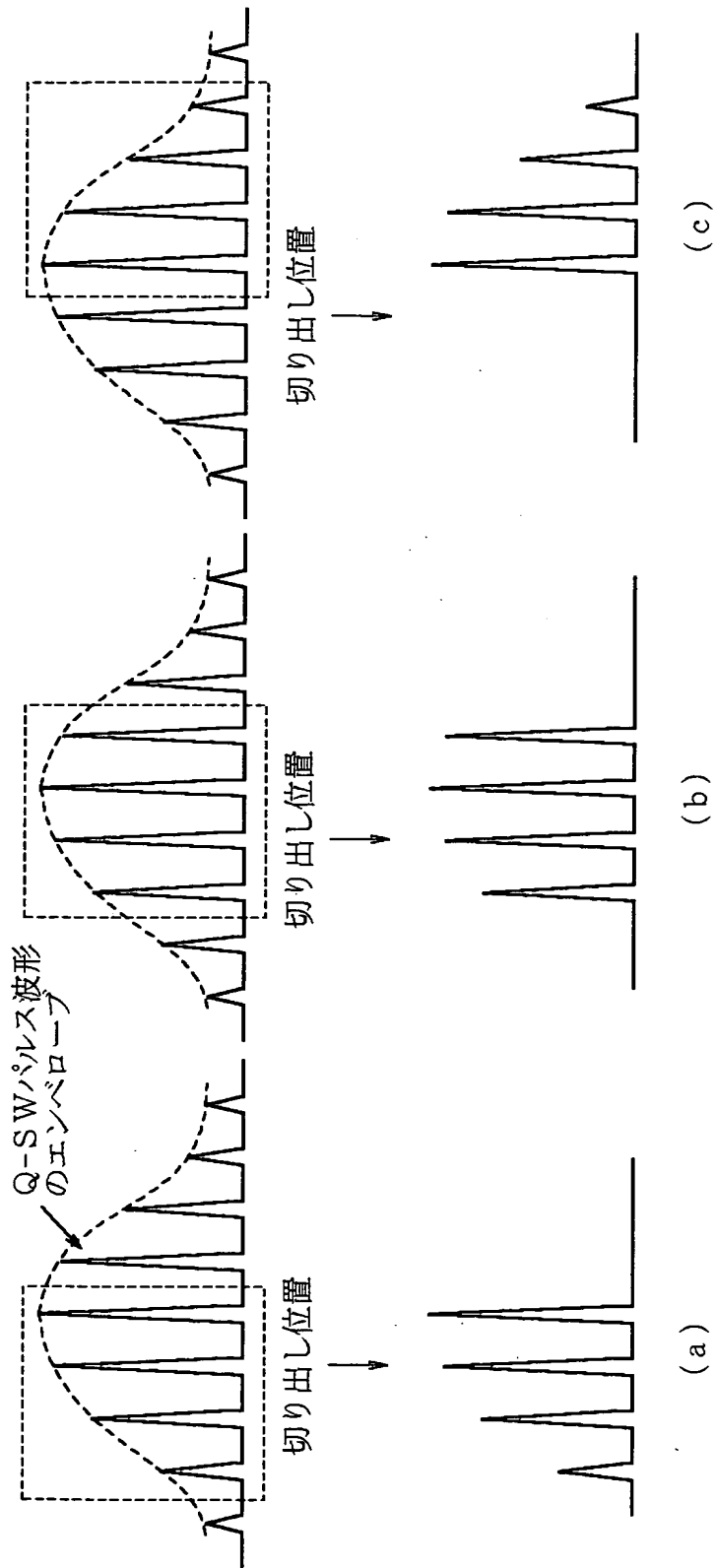
【図 1】



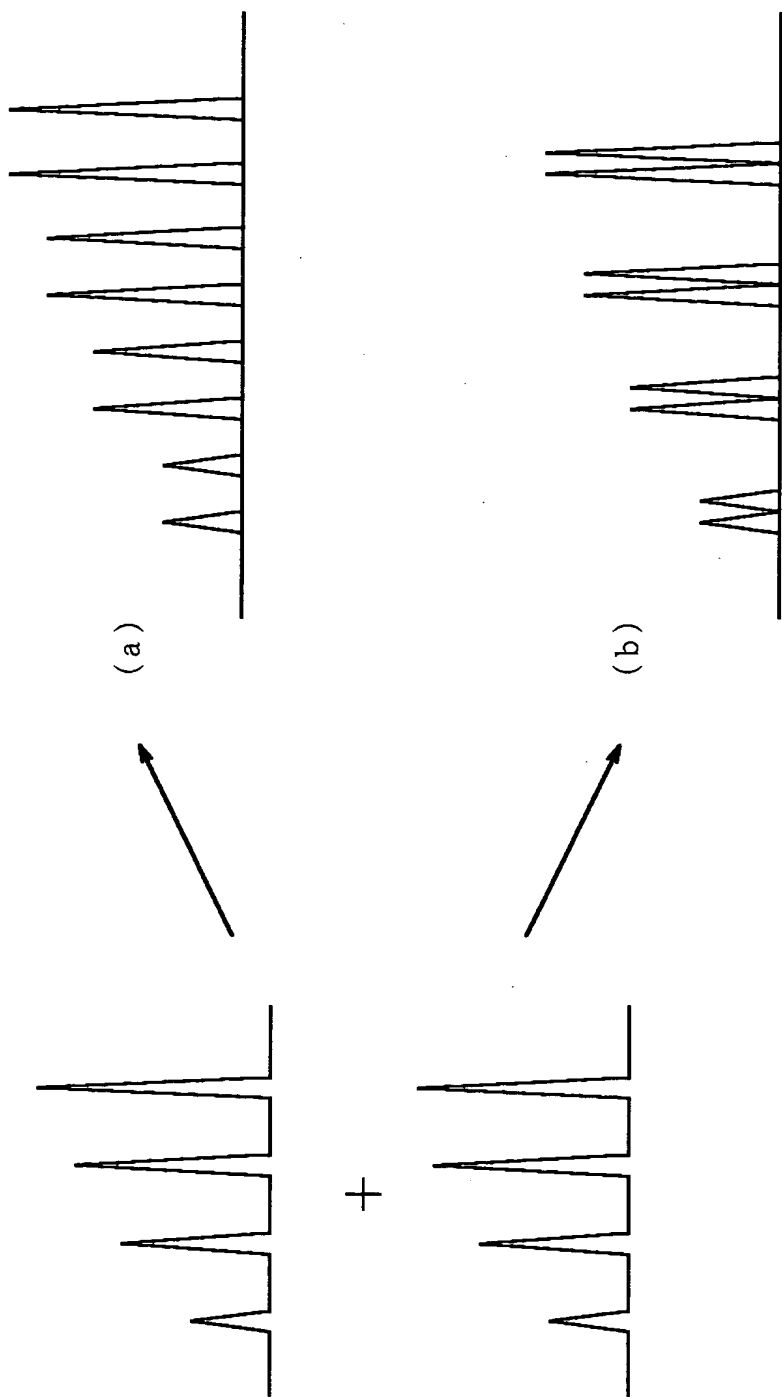
【図 2】



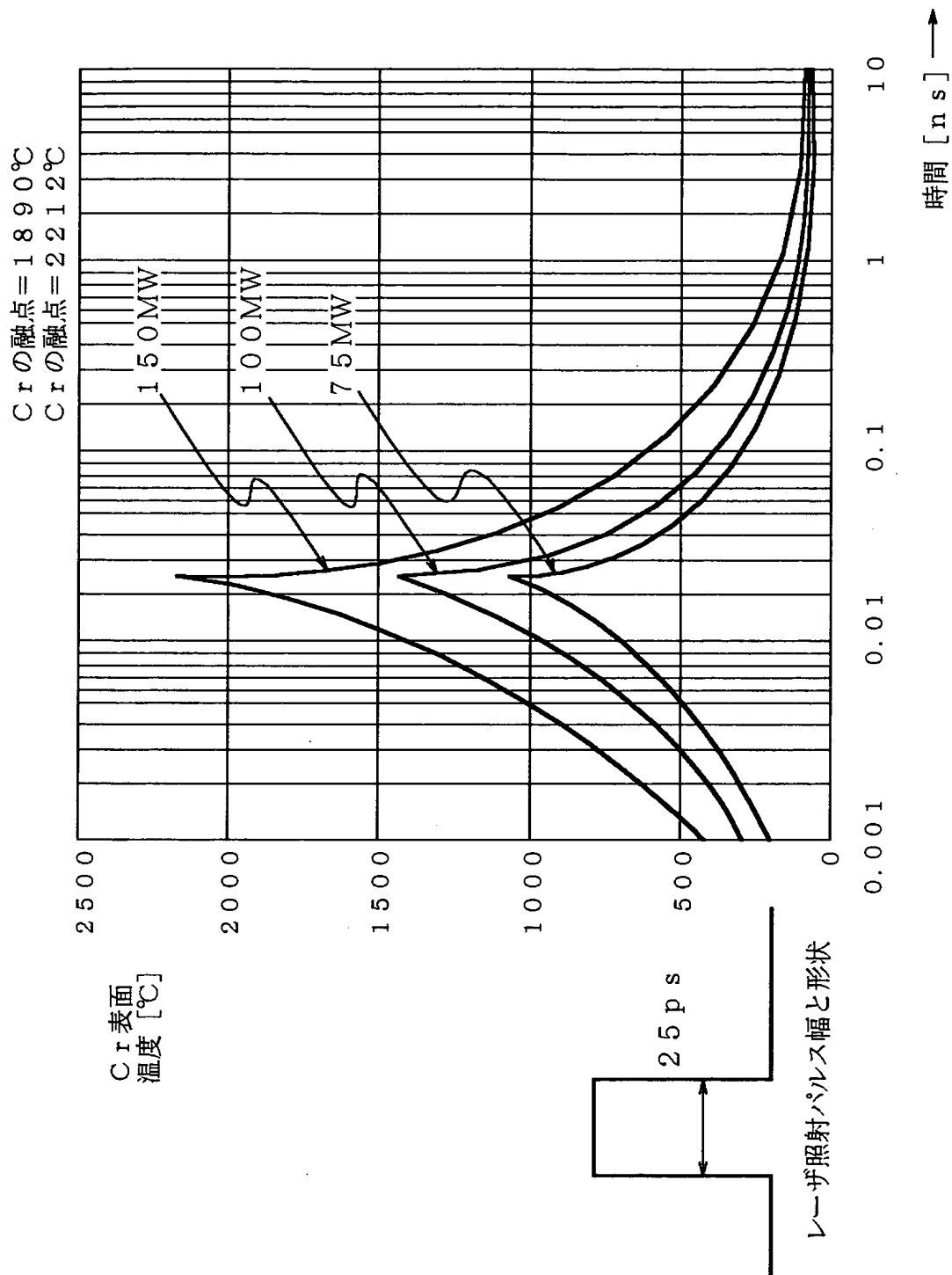
【図 3】



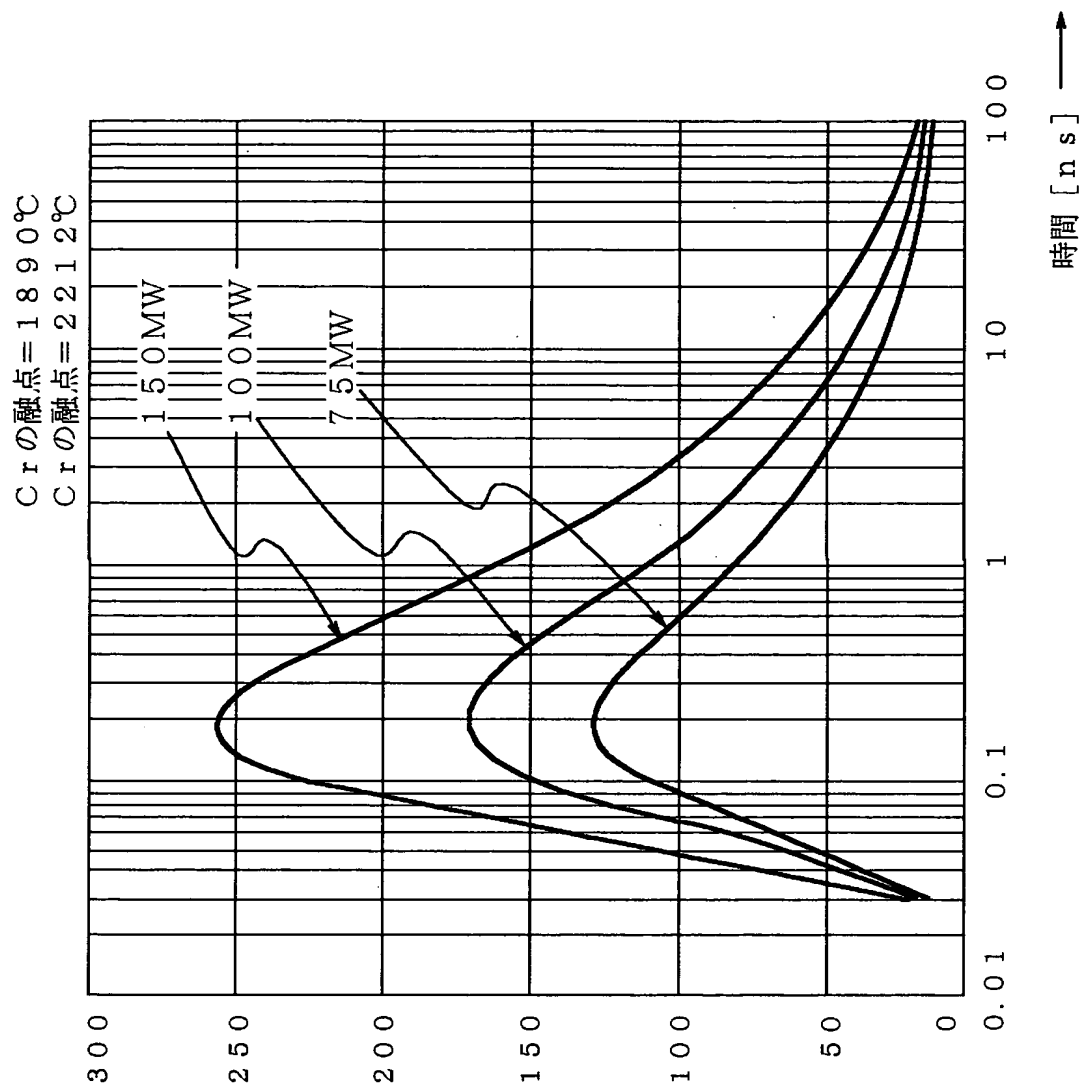
【図 4】



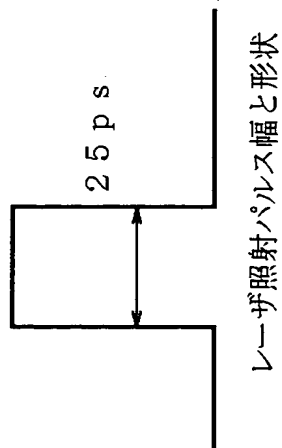
【図 5】



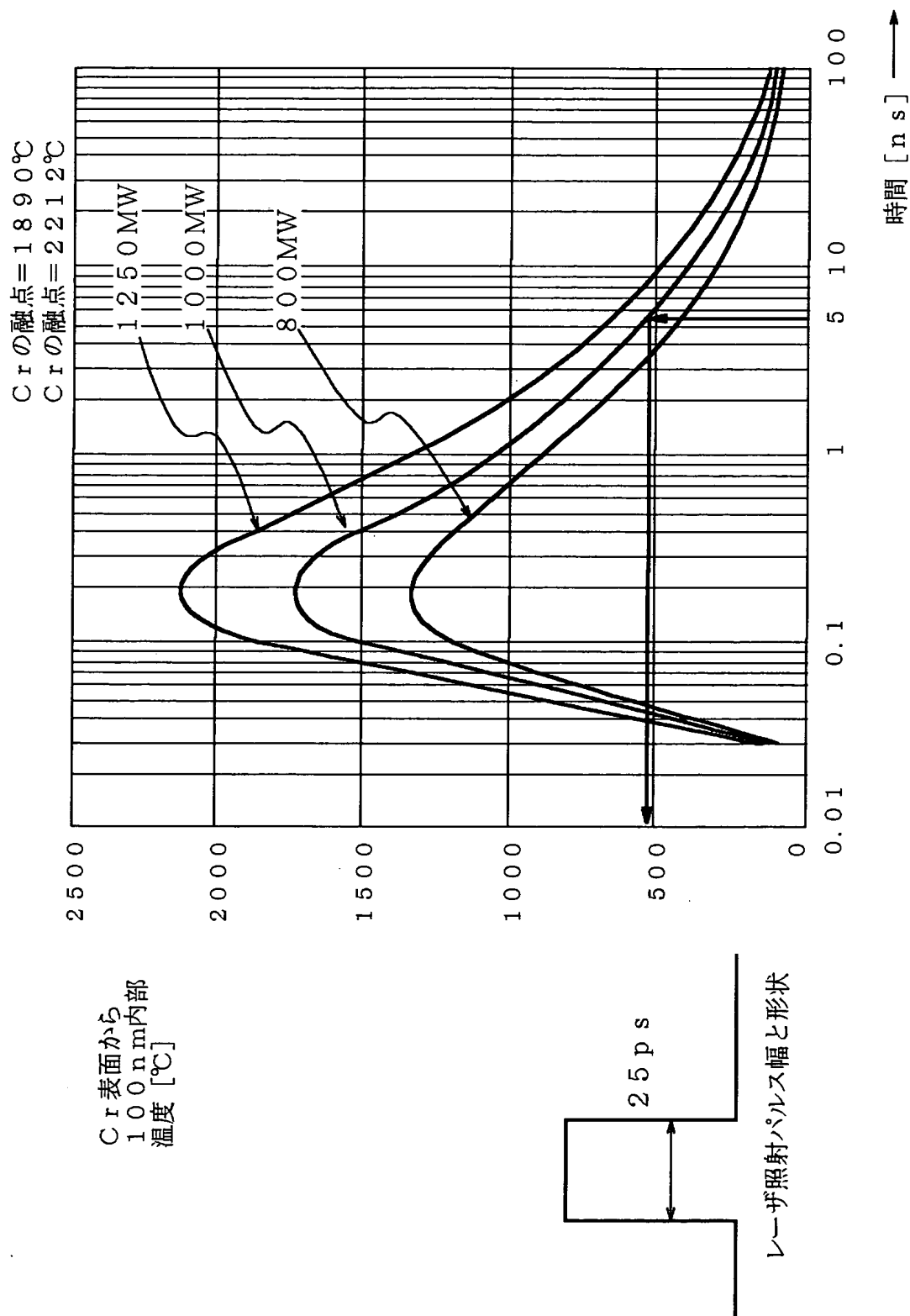
【図 6】



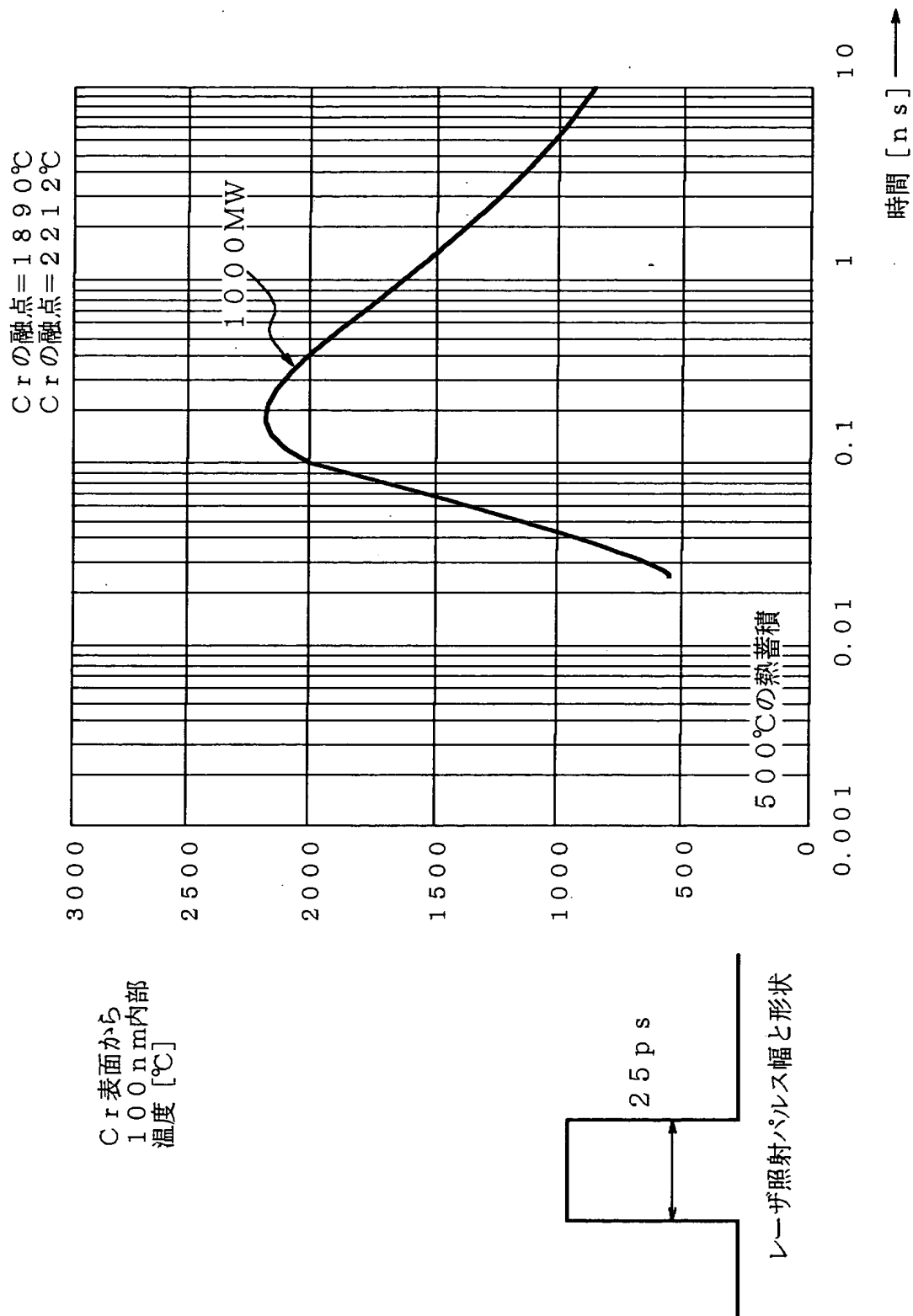
Cr表面から
100nm内部
温度 [°C]



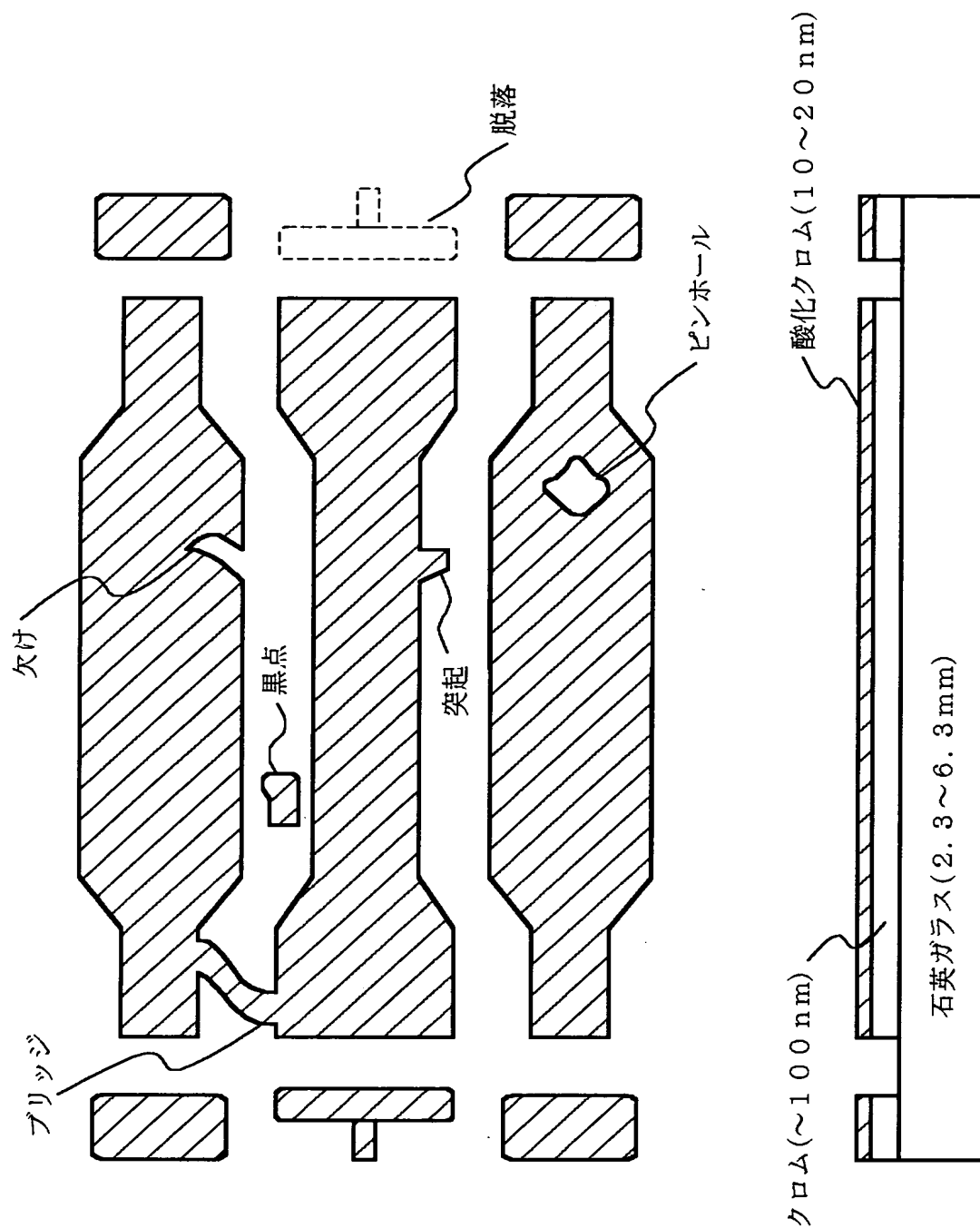
【図 7】



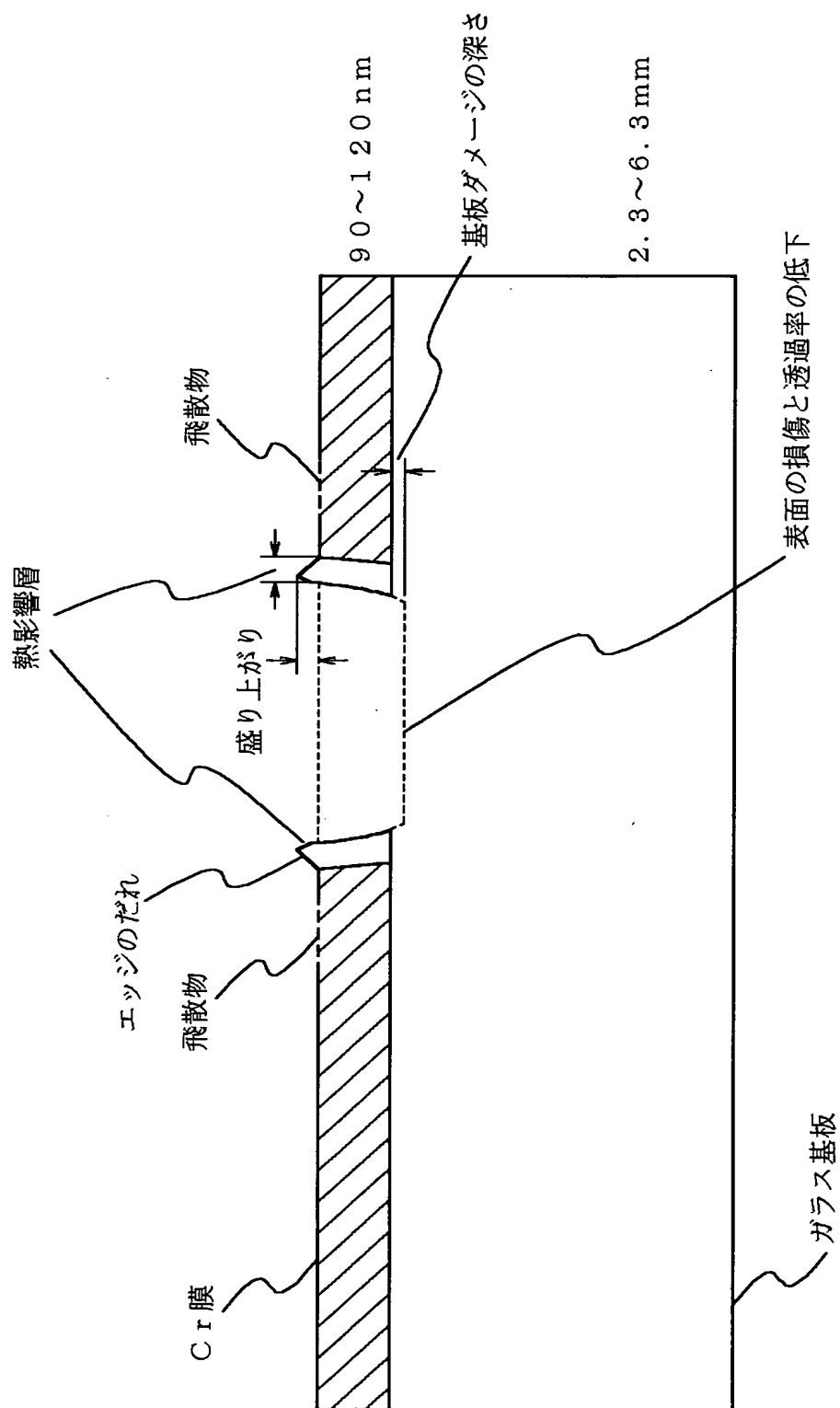
【図 8】



【図9】



【図 1 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 Cr などの金属薄膜を除去加工することにより、スプラッシュ、ロールアップ、基板ダメージなどを最小限にできるレーザマスクリペアシステムの構築。

【解決手段】 10 p s ～ 3 0 0 p s の範囲にあるパルス幅を有するQスイッチモードロックパルスレーザ 1 の出射光から、光シャッタ 2 で切り出したパルス列の一部のパルスを、光学遅延ユニット 5 によって時間軸で 2 段階以上に分けたマルチパルスを作り、これを用いてレーザマスクリペア装置を構成する。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 0 - 2 2 2 5 5 6
受付番号	5 0 0 0 0 9 3 1 2 9 0
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0 0 9 2
作成日	平成 1 2 年 7 月 2 5 日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成12年 7月24日
-------	-------------

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都港区芝五丁目7番1号

氏 名 日本電気株式会社